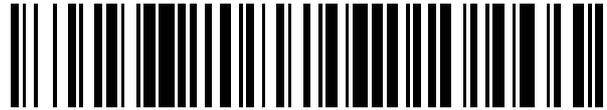


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 537 199**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2009 E 09003009 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.02.2015 EP 2098725**

54 Título: **Procedimiento para hacer funcionar una central eólica y central eólica**

30 Prioridad:

**06.03.2008 DE 102008012957**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**03.06.2015**

73 Titular/es:

**SENVION SE (100.0%)  
Überseering 10 (Oval Office)  
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**STEUDEL, DIRK y  
VON MUTIUS, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**BOTELLA REYNA, Antonio**

ES 2 537 199 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

## DESCRIPCIÓN

Procedimiento para hacer funcionar una central eólica y central eólica.

5 La invención se refiere a un procedimiento para hacer funcionar una central eólica con un rotor que presenta al menos una pala de rotor de ángulo ajustable, en el que un parámetro de funcionamiento se halla mediante un procedimiento de registro y, en especial, se vigila mediante un sistema de seguridad independiente de un sistema de gestión y en el que, al alcanzar un valor límite para el parámetro de funcionamiento, se inicia un proceso de frenado del rotor, en especial por el sistema de seguridad.

10

La invención se refiere además a una central eólica con un rotor que presenta al menos una pala de rotor de ángulo ajustable, en la que la central eólica comprende un sistema de gestión, en la que está previsto un sistema de seguridad para vigilar al menos un parámetro de funcionamiento, en la que el sistema de seguridad proporciona en el sistema de gestión una señal para frenar el rotor y/o inicia el frenado del rotor en cuanto el al menos un parámetro de funcionamiento alcance un valor límite para el parámetro de funcionamiento.

15

Por el documento DE 10 2006 001 613 A1, por ejemplo, se conocen procedimientos correspondientes y una central eólica correspondiente.

20 Las centrales eólicas presentan habitualmente un sistema de gestión que controla y/o regula la gestión de las centrales eólicas y que también se encarga del control y/o la regulación de diferentes estados de funcionamiento.

Por el documento DE 10 2004 054 608 A1 se conoce un procedimiento para la regulación de una central eólica, en el que la central eólica se regula al superar un valor límite definido para un ángulo de las palas del rotor reduciendo la potencia o la velocidad de rotación. El valor límite marca la transición entre un intervalo de potencia nominal y un intervalo de carga parcial superior.

25

En el documento US 2007/018457 A1 se propone definir la transición entre el intervalo de potencia nominal y el intervalo de carga parcial superior mediante una o varias variables con valores límite correspondientes.

30

Si el sistema de gestión falla, un sistema de seguridad independiente del sistema de gestión garantiza que la central eólica permanezca en un estado seguro. En el estado de la técnica este sistema de seguridad está adaptado a un modo de funcionamiento de la central eólica con una velocidad nominal de rotación o un funcionamiento normal a potencia óptima.

35

Por el documento WO 2008/009354 A1 se sabe que una central eólica se puede volver a poner en marcha después de una desconexión de seguridad mediante un dispositivo de mando separado en el espacio de la central eólica.

Sin embargo, una central eólica a veces también se hace funcionar en un modo de funcionamiento adicional en el que se reduce, en particular, la velocidad de rotación y/o la potencia. En este caso se trata, por ejemplo, de un funcionamiento más silencioso, una limitación de potencia debido a trabajos de mantenimiento o reparación o un funcionamiento con una capacidad de red limitada a la que, por ejemplo, no se puede suministrar a la red toda la potencia que puede producir la central eólica. Especialmente en el estado de funcionamiento adicional, o el segundo modo de funcionamiento, que se sale del funcionamiento a velocidad nominal de rotación o de un funcionamiento que también se puede denominar funcionamiento normal a potencia óptima se pueden producir casos de carga o averías que pueden dañar la central eólica.

45

Por esta razón, el objetivo de la presente invención consiste en mejorar la seguridad de funcionamiento de una central eólica, así como reducir la carga de una central eólica, en especial en un modo de funcionamiento que se sale de un funcionamiento normal a potencia óptima.

50

El objetivo se alcanza mediante un procedimiento para hacer funcionar una central eólica con un rotor que presenta al menos una pala de rotor de ángulo ajustable, en el que un parámetro de funcionamiento se halla mediante un procedimiento de registro y se vigila mediante un sistema de seguridad independiente de un sistema de gestión y en el que, al alcanzar un valor límite para el parámetro de funcionamiento, se inicia un proceso de frenado del rotor por el sistema de seguridad, que está perfeccionado por que la central eólica se hace funcionar en un primer modo de funcionamiento o un segundo modo de funcionamiento, siendo el primer modo de funcionamiento un funcionamiento normal a potencia óptima y el segundo modo de funcionamiento un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida y/o a potencia reducida que se sale del funcionamiento normal a potencia óptima, siendo el parámetro de

55

funcionamiento una aceleración del rotor e iniciándose en el primer modo de funcionamiento y/o en el segundo modo de funcionamiento un proceso de frenado del rotor cuando predomine una aceleración del rotor que supera un valor límite para la aceleración del rotor.

- 5 Mediante la adaptación del valor límite para el parámetro de funcionamiento de la central eólica se logra un funcionamiento seguro de la central eólica. Por adaptación del valor límite para el parámetro de funcionamiento se puede entender, por ejemplo, una disminución de un valor límite para la velocidad de rotación o una disminución o también un aumento de un valor límite para la aceleración del rotor o la modificación de un valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor. Por adaptación de un valor límite para el parámetro de funcionamiento se entiende, en particular, una modificación del valor límite en relación con el valor límite usado en el funcionamiento normal a potencia óptima. Puesto que se trata de valores límite relevantes para la seguridad, las posibles adaptaciones de los valores límite están establecidas claramente con anterioridad, por ejemplo en forma de tablas de valores o funciones matemáticas como, por ejemplo, funciones lineales o cuadráticas.
- 10
- 15 Por adaptación del procedimiento de registro del parámetro de funcionamiento se entiende, en particular, una modificación del procedimiento de filtrado y/o de promediación en el registro del parámetro de funcionamiento. Si el parámetro de funcionamiento es, por ejemplo, la velocidad de rotación, la adaptación del procedimiento de registro puede ser, en el marco de la invención, una reducción del periodo de promediación. Si, por ejemplo, en el funcionamiento normal la velocidad de rotación se registra como media a 5 s, en el funcionamiento a velocidad de rotación reducida esto se puede realizar, por ejemplo, como media a 50 ms, de manera que en caso de un aumento repentino de la velocidad de rotación, la adaptación del procedimiento de registro ejerce un efecto parecido sobre el funcionamiento de la central eólica que una clara reducción del valor límite para la velocidad de rotación en el funcionamiento a velocidad de rotación reducida.
- 20
- 25 Todo ello se basa en el conocimiento de que una modificación del procedimiento de registro de un parámetro de funcionamiento sin alteración del valor límite para el parámetro de funcionamiento presenta, en comparación con una adaptación del valor límite para el parámetro de funcionamiento sin modificación del procedimiento de registro, un efecto correspondiente en el funcionamiento de la central eólica. En lo sucesivo, la referencia a la adaptación del valor límite también abarca la adaptación del procedimiento de registro del parámetro de funcionamiento aunque no se mencione explícitamente.
- 30

Puede estar previsto que el parámetro de funcionamiento sea un velocidad de rotación de un rotor, iniciándose en el primer modo de funcionamiento un proceso de frenado del rotor cuando se supera una velocidad de rotación del rotor que se encuentra por encima de un primer valor límite para la velocidad de rotación e iniciándose en el segundo modo de funcionamiento un proceso de frenado del rotor cuando la velocidad de rotación del rotor es mayor que un segundo valor límite para la velocidad de rotación, siendo el segundo valor límite para la velocidad de rotación inferior al primer valor límite para la velocidad de rotación.

35

- Por una parte, se ha observado que la reducción de un valor límite para la velocidad de rotación a partir del cual se inicia un proceso de frenado del rotor, bien sea por ajuste del ángulo de las palas del rotor en dirección a la posición de bandera o por intervención de un freno mecánico o bien mediante otras medidas de frenado, en un segundo modo de funcionamiento, que es un modo de velocidad de rotación y/o de potencia reducida, aumenta notablemente la seguridad de funcionamiento de la central eólica. De acuerdo con la invención o de forma complementaria a ella, se ha introducido un valor límite para la aceleración del rotor o una vigilancia de un valor límite para la aceleración del rotor de manera que, al alcanzar una aceleración del rotor que supera el valor límite para la aceleración del rotor, se efectúe un proceso de frenado correspondiente del rotor. De este modo aumenta notablemente de acuerdo con la invención la seguridad de funcionamiento de la central eólica.
- 40
- 45

- El primer modo de funcionamiento es un funcionamiento normal a potencia óptima de la central eólica, que equivale entonces a un funcionamiento de la central eólica con una característica de velocidad que en el diseño de una central eólica se prevé como característica de velocidad para una potencia de salida máxima. Esto generalmente es documentado y certificado de forma correspondiente por una autoridad reguladora en un ensayo de tipo.
- 50

- La característica de velocidad es una característica consistente en una funcionalidad de la velocidad de rotación dependiente de la potencia y/o del par de rotación o, a la inversa, de la potencia dependiente de la velocidad de rotación y/o del par de rotación dependiente de la velocidad de rotación. Esta característica, y con ello el funcionamiento normal a potencia óptima, se puede aplicar tanto al intervalo de carga parcial como al de plena carga, ajustándose en el intervalo de plena carga generalmente un velocidad de rotación constante. Especialmente en la zona de transición de carga parcial a plena carga se pueden producir en la central eólica estados de
- 55

funcionamiento que suponen una elevada carga para la central. Un incidente de este tipo es, por ejemplo, un fallo de gestión que hace que el ángulo de ajuste de las palas del rotor se mueva en dirección a 0°, es decir hacia una superficie de ataque máxima frente al viento incidente. Si esto ocurre y el valor límite para la velocidad de rotación no está reducido respecto al del funcionamiento normal a potencia óptima o no está previsto un valor límite correspondiente predeterminable para la aceleración del rotor, el incidente será reconocido demasiado tarde por el sistema de seguridad y la central eólica podrá quedar sometida a cargas muy elevadas. En el marco de la invención, el valor límite para la aceleración del rotor preferentemente es predeterminable y/o el primer y/o el segundo valor límite para la velocidad de rotación es predeterminable.

- 10 Con especial preferencia, el procedimiento se ha perfeccionado en el sentido de que se vigila, además, una velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor, especialmente en el segundo modo de funcionamiento. Se puede vigilar, por ejemplo, si se produce el fallo de gestión descrito, en el que el ángulo de ajuste de las palas del rotor se mueve en dirección a 0°. En este caso, la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor se define como negativa. A partir de una cierta velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor negativa también se puede
- 15 iniciar un proceso de frenado, preferentemente un proceso de frenado del rotor, cuando la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor alcanza un valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor. Esta vigilancia de la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor sirve en primer lugar para definir el estado de funcionamiento de la central eólica, para excluir que la central eólica se encuentre en ese momento, por ejemplo, en un proceso de inicio o de detención o de conmutación o en funcionamiento transitorio debido a una turbulencia extrema, en el que también pueden producirse grandes aceleraciones del rotor que, sin embargo, se corrigen mediante un ajuste de las palas con una alta velocidad de ajuste positiva de las palas.
- 20

El proceso de frenado se inicia preferentemente cuando se combina el hecho de alcanzar el valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor mediante la vigilancia de la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor con el hecho de superar el segundo valor límite para la velocidad de rotación por la velocidad de rotación del rotor y/o con el hecho de superar el valor límite para la aceleración del rotor por la aceleración del rotor. De este modo es posible un procedimiento operativo aún más seguro de una central eólica. El valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor se alcanza, por ejemplo, cuando se alcanza una velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor negativa cuya cantidad es superior o igual a la cantidad de un valor límite

25 negativo. Si el valor límite es, por ejemplo, -1,5°, éste se alcanza cuando la velocidad de ajuste del ángulo asciende a -1,5° o menos (por ejemplo -1,51°), es decir, un ajuste en dirección de un ángulo de las palas de 0°.

30

Preferentemente, el valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor está adaptado en función del valor límite para la aceleración del rotor y/o del segundo valor límite para la velocidad de rotación.

- 35 Preferentemente, el valor límite para la aceleración del rotor está adaptado en función del valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor y/o del segundo valor límite para la velocidad de rotación.

Preferentemente, el segundo valor límite para la velocidad de rotación está adaptado en función del valor límite para la aceleración del rotor y/o del valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor. Mediante la adaptación de los valores límite correspondientes se puede reducir notablemente la carga de la central. Por ejemplo, el valor límite para la aceleración del rotor se puede fijar algo más alto, mientras que el segundo valor para la velocidad de rotación o la cantidad de la velocidad de paso o la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor, en especial negativa, se fija un poco más bajo. Esto también puede ocurrir a la inversa. También se puede fijar algo más alto el valor para la aceleración del rotor mientras que la cantidad de la velocidad de ajuste de las palas del rotor negativa se fija algo más baja.

40

45

Un modo de funcionamiento que se sale del funcionamiento normal a potencia óptima es, en el marco de la invención, un modo de funcionamiento de un funcionamiento con una característica de velocidad que se sale de una característica de velocidad prevista para una potencia de salida máxima. Esto significa, en particular, que en una relación funcional de la velocidad de rotación con la potencia o de la velocidad de rotación con el par de rotación está previsto un modo inferior a esta característica de velocidad para una potencia de salida máxima. Este modo es preferentemente un modo en el que se alcanza como máximo el 95% de la velocidad de rotación a una potencia correspondiente o un par de rotación correspondiente.

50

- 55 Un modo de funcionamiento que se sale del funcionamiento normal a potencia óptima también puede ser una simple limitación de la velocidad de rotación máxima y/o de la potencia máxima admisibles. En este caso, la característica de velocidad no se modifica forzosamente sino que posiblemente solo se limita o acota en el intervalo superior.

La adaptación del valor límite para el parámetro de funcionamiento se produce preferentemente cuando la central

eólica está en funcionamiento. Si, por ejemplo, debido a una capacidad de red limitada solo se puede suministrar a una red el 50% de la potencia generada de la central eólica, se puede prever una característica de funcionamiento en un modo de funcionamiento que se salga de un funcionamiento normal a potencia óptima y que prevea solo el 50% de la potencia a una velocidad de rotación correspondiente en una característica de velocidad adaptada. Cuando vuelva a aumentar la capacidad de red, se puede volver a aumentar ligeramente un posible valor límite para el parámetro de funcionamiento, por ejemplo el valor límite para la velocidad de rotación, puesto que se puede volver a extraer del sistema un par de rotación suficiente mediante el generador.

Preferentemente, los modos de funcionamiento con sus correspondientes valores límite están predeterminados de manera que en condiciones predefinidas se conmute tanto el modo de funcionamiento como el valor límite correspondiente.

El segundo modo de funcionamiento es preferentemente un funcionamiento de la central eólica a una velocidad de rotación reducida, una potencia reducida y/o un par de rotación reducido. Este modo se prevé, por ejemplo, cuando están previstos trabajos de mantenimiento o de reparación o, en particular, un funcionamiento más silencioso. En un funcionamiento más silencioso se usa preferentemente un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida.

El parámetro de funcionamiento vigilado es preferentemente una velocidad de rotación del rotor, una aceleración del rotor, un ángulo de ajuste de las palas del rotor, una velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor, una aceleración del ajuste del ángulo de las palas del rotor, un par de rotación del rotor o una potencia de salida eléctrica. De forma correspondiente, está previsto un valor límite para estos parámetros de funcionamiento vigilados correspondientes. Preferentemente se vigilan al menos dos parámetros de funcionamiento y se comparan respectivamente con un valor límite correspondiente para el parámetro de funcionamiento. De este modo es posible un procedimiento aún más seguro para hacer funcionar una central eólica. El proceso de frenado preferentemente solo se inicia cuando los al menos dos parámetros de funcionamiento alcanzan respectivamente sus valores límite correspondientes para el parámetro de funcionamiento. El proceso de frenado solo se inicia, por ejemplo, cuando la velocidad de rotación del rotor supera un valor límite para la velocidad de rotación y además el par de rotación del rotor supera un valor límite para el par de rotación del rotor.

Preferentemente, los valores límite para el parámetro de funcionamiento se adaptan, al menos en parte, de forma dependiente entre sí. Así, al acoplar, por ejemplo, la vigilancia de la velocidad de rotación del rotor y del par de rotación del rotor con la previsión de iniciar el proceso de frenado solo al alcanzar los dos valores límite correspondientes para los parámetros de funcionamiento, puede estar previsto que los valores límite correspondientes se establezcan algo más altos de lo previsto para la vigilancia de tan solo uno de los dos parámetros.

El objetivo se alcanza asimismo mediante una central eólica con un rotor que presenta al menos una pala de rotor de ángulo ajustable, en la que la central eólica comprende un sistema de gestión, en la que está previsto un sistema de seguridad para vigilar al menos un parámetro de funcionamiento, en la que el sistema de seguridad proporciona en el sistema de gestión una señal para frenar el rotor o inicia el frenado del rotor en cuanto el al menos un parámetro de funcionamiento alcance un valor límite para el parámetro de funcionamiento, que se ha perfeccionado en cuanto que el sistema de gestión prevé al menos un primer modo de funcionamiento y un segundo modo de funcionamiento, siendo el primer modo de funcionamiento un funcionamiento normal a potencia óptima y el segundo modo de funcionamiento un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida y/o a potencia reducida que se sale del funcionamiento normal a potencia óptima, estando previsto al menos un sensor de aceleración que en el primer modo de funcionamiento y/o en el segundo modo de funcionamiento mide una aceleración del rotor como parámetro de funcionamiento, en el que el sistema de seguridad proporciona la señal para frenar el rotor o inicia el frenado del rotor cuando se supere un valor límite para la aceleración del rotor.

El sistema de seguridad comprende preferentemente un dispositivo de vigilancia de seguridad y una cadena de seguridad. El valor límite para el parámetro de funcionamiento se adapta preferentemente durante el funcionamiento.

Un parámetro de funcionamiento es preferentemente una velocidad de rotación del rotor, estando previsto para el primer modo de funcionamiento un primer conmutador de la velocidad de rotación en el sistema de seguridad y estando previsto para el segundo modo de funcionamiento un segundo conmutador de la velocidad de rotación en el sistema de seguridad, proporcionando al menos uno de los conmutadores de la velocidad de rotación la señal de frenado cuando se supere un valor límite para la velocidad de rotación asignado al conmutador de la velocidad de rotación correspondiente.

Preferentemente, una velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor es un parámetro de funcionamiento. De acuerdo con la invención, una aceleración del rotor es un parámetro de funcionamiento.

- 5 Si la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor debe alcanzar preferentemente un valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor y la aceleración del rotor un valor límite para la aceleración del rotor para provocar que el sistema de seguridad proporcione una señal de frenado o inicie el frenado del rotor, se obtiene una central eólica especialmente segura. Preferentemente, el valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor depende del valor límite para la aceleración del rotor. También puede estar previsto  
10 preferentemente que el valor límite para la aceleración del rotor dependa del valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor.

Preferentemente está previsto un sensor para el parámetro de funcionamiento en el sistema de seguridad, en particular en una cadena de seguridad. El sistema de seguridad preferentemente es independiente del sistema de  
15 gestión, de manera que, en particular, no es posible que el sistema de gestión intervenga en el sistema de seguridad o que el sistema de gestión pase por alto el sistema de seguridad. Así pues, cuando el sistema de seguridad genera una señal de frenado o inicia el frenado del rotor, el sistema de gestión no puede impedir este frenado.

El sistema de seguridad o partes de él preferentemente están dispuestos en un actuador de ajuste del ángulo de las  
20 palas o un regulador de ajuste del ángulo de las palas.

Preferentemente está previsto un dispositivo de control o de regulación en una central eólica en la que se pueda realizar el procedimiento de acuerdo con la invención. Preferentemente se prevé un programa informático con medios de código de programa que están adaptados para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la  
25 invención cuando el programa informático corre, en particular, en un dispositivo de control o de regulación de una central eólica.

Preferentemente, el programa informático preferido está almacenado en un soporte de datos legible por ordenador.

30 A continuación se describirá la invención, sin limitación de la idea inventiva general, por medio de ejemplos de realización y haciendo referencia a los dibujos, remitiéndose respecto a todos los detalles de acuerdo con la invención no explicados detalladamente en el texto expresamente a los dibujos. Muestran:

Fig. 1 una representación esquemática de una central eólica,  
35

Fig. 2 un diagrama de bloques esquemático de los componentes esenciales de una central eólica,

Fig. 3 un diagrama de conexiones esquemático de una cadena de seguridad,

40 Fig. 4 una representación esquemática de la disposición de los sensores de aceleración,

Fig. 5a un diagrama de la velocidad de rotación de un rotor a lo largo del tiempo,

Fig. 5b un diagrama de la aceleración filtrada de un rotor a lo largo del tiempo,  
45

Fig. 5c un diagrama de la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor a lo largo del tiempo,

Fig. 5d una representación esquemática del módulo de flexión del pie de pala representado a lo largo del tiempo,

50 Fig. 6 un curso de procedimiento esquemático de un procedimiento de acuerdo con la invención para hacer funcionar una central eólica y

Fig. 7 un curso de procedimiento esquemático de un procedimiento de acuerdo con la invención alternativo para hacer funcionar una central eólica.

55

En las figuras siguientes se asignan en cada caso los mismos números de referencia a elementos o partes correspondientes iguales o similares, de forma que se prescinde de una nueva presentación correspondiente.

La fig. 1 muestra una representación esquemática de una central eólica 10. La central eólica 10 presenta una torre

11 y un rotor 12 que comprende tres palas de rotor 14 que están montadas en un buje de rotor 9. Al incidir el viento, el rotor 12 gira de manera conocida en sí. De este modo, un generador conectado al rotor 12 o al buje de rotor 9 puede generar potencia que se puede suministrar a una red de consumidores.

5 La fig. 2 muestra esquemáticamente los componentes básicos de una central eólica 10. Un gestor 15, que también se puede denominar dispositivo de gestión o sistema de gestión, controla y/o regula el funcionamiento de la central eólica 10. Adyacente al sistema de gestión 15 se encuentra un dispositivo de vigilancia de seguridad 16 que está unido con una cadena de seguridad 20. El dispositivo de vigilancia de seguridad 16 puede estar realizado en forma de una unidad de control independiente del sistema de gestión, pero también puede estar dispuesto total o  
10 parcialmente en un dispositivo de control ya existente, por ejemplo en un ordenador de control para el ajuste del ángulo de las palas dispuesto en el buje de rotor. La cadena de seguridad 20 comprende, por ejemplo, un detector de vibraciones, un interruptor (de parada de emergencia) manual y un relé de conmutación de velocidad o un conmutador de velocidad. Se presentarán realizaciones adicionales en relación con la cadena de seguridad haciendo referencia a la fig. 3.

15 La cadena de seguridad 20 sirve para que la central eólica se pare en un estado no crítico en caso de producirse un acontecimiento relevante para la seguridad, por ejemplo vibraciones demasiado grandes o el accionamiento del interruptor de parada de emergencia por un operador. La cadena de seguridad 20 puede estar configurada en forma de cadena de hardware. Cuando se dispara la cadena de seguridad 20, lo que se indica mediante la flecha dirigida  
20 hacia los componentes eléctricos 21, el generador 23 se desconecta de la red 25 y el eje de rotor 13 o el eje rápido 22 se frena, por ejemplo mediante el ajuste de palas 18 o el freno mecánico 19, o también directamente, aunque no esté representado, pasando por alto uno o varios dispositivos de regulación o de control, como el ajuste de palas 18.

La vigilancia de seguridad 16 también puede estar configurada de tal manera que compruebe la funcionalidad del  
25 gestor 15. En este sentido, la vigilancia de seguridad 16 está realizada preferentemente como una especie de perro guardián. El sistema de gestión puede estar configurado en forma de sistema de gestión con dispositivo de vigilancia de seguridad 15'. Esto se representa mediante el trazado discontinuo. En este caso, el sistema de gestión 15' incluye también una vigilancia de seguridad 16 o un dispositivo de vigilancia de seguridad 16 integrado. El sistema de gestión 15 o 15' está unido a través de líneas de datos electrónicos correspondientes a un regulador 17 y al ajuste  
30 de palas 18 y, además, al freno mecánico 19. Por ajuste de palas 18 se entiende, en particular, un actuador que se encarga de ajustar el ángulo de las palas de rotor 14. De forma correspondiente se entiende por freno mecánico 19 un actuador que se encarga en este ejemplo de realización de que el freno mecánico 19 actúe sobre el eje rápido 22. El freno mecánico o un freno mecánico adicional 19 puede actuar sobre el eje de rotor 13, lo que, sin embargo, no está representado.

35 Con 26 se designa una conexión de datos que proporciona un ángulo de las palas de rotor o los ángulos de palas de rotor de las palas de rotor 14 al sistema de gestión 15 o 15'. Con el número de referencia 27 se designa una conexión de datos que proporciona una velocidad de rotación real del eje rápido 22 al sistema de gestión 15 o 15'.  
40 Con 30 se designa una línea de datos que proporciona una señal de interferencia, que en este ejemplo de realización parte de los componentes eléctricos 21, al sistema de gestión 15 o 15'.

El funcionamiento de la central eólica 10 es como sigue. Por la incidencia del viento 31 el rotor 12 gira de acuerdo con la dirección de rotación 29. De este modo gira también el eje de rotor 13, que hace girar el eje rápido 22 con un engranaje 24 en una transmisión de, por ejemplo, 1:100. De esta forma se genera en el generador 23 una tensión  
45 eléctrica que en los componentes eléctricos 21 se regula, cambia y/o convierte en una tensión alterna. A la salida de los componentes eléctricos 21 está prevista una conexión a la red 25 que abastece a los consumidores con tensión o potencia eléctrica. En el capítulo 5 del libro de texto "Windkraftanlagen Systemauslegung, Netzintegration und Regelung", de Siegfried Heier, 4ª edición febrero de 2005, B. G. Teubner-Verlag /GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, por ejemplo, se dan a conocer los conceptos de regulación y gestión de las centrales eólicas.

50 La cadena de seguridad 20 está representada esquemáticamente en la fig. 3. En primer lugar, una fuente de alimentación de tensión 45 sirve para suministrar tensión a los componentes correspondientes de la cadena de seguridad 20. La cadena de seguridad 20 comprende un dispositivo de parada de emergencia NA y un dispositivo de parada de seguridad SA. El dispositivo de parada de emergencia NA comprende varios interruptores de parada de  
55 emergencia 46.1, 46.2 y 46.3 que pueden ser accionados por operadores en caso de que sea necesaria una parada de emergencia. Estos interruptores de parada de emergencia son interruptores manuales conectados en serie que están dispuestos como tecla de parada de emergencia en un cajetín superior, un cajetín inferior, en el pie de la torre y en el armario del convertidor, así como en otros puntos de y en la central eólica.

Asimismo está previsto otro interruptor de llave 47 conectado en serie con los demás interruptores 46.1 a 46.3 de accionamiento manual que es accionado por el personal de mantenimiento mediante una llave correspondiente. Un interruptor de llave 47 de este tipo, también denominado interruptor de servicio, está previsto, por ejemplo, en el cajetín superior (armario de control en la góndola) para el mantenimiento del dispositivo de ajuste de las palas.

5

Mediante el dispositivo de parada de emergencia NA se detienen todas las piezas conductoras de tensión así como todas las piezas giratorias de la central eólica 10. Las piezas conductoras de tensión quedan, en la medida de lo posible, sin tensión cuando se acciona el dispositivo de parada de emergencia NA. Al accionar uno de los interruptores 46.1, 46.2, 46.3,..., 47 se abren los interruptores, de forma que se produce una parada de seguridad de la central eólica 10. Mediante esta "parada de emergencia" se abren los relés 48, 49 conectados (disposición a prueba de fallos).

10

Al interrumpir el bucle se desprenden los relés 48, 49 autofijadores, de manera que se produce una parada de seguridad. En este caso, por ejemplo, los relés 48, 49 controlan los frenos de la central eólica e inducen, por ejemplo, un programa de frenado.

15

Asimismo están previstos interruptores adicionales 56.1, 56.2, 56.3, ... de un dispositivo de parada de seguridad SA conectados en serie con los interruptores de accionamiento manual 46.1, 46.2, 46.3, ..., 47, en el que los interruptores del dispositivo de parada de seguridad SA se conmutan mediante sensores. Mediante los sensores para los interruptores 56.1, 56.2, 56.3, ... se vigilan las piezas móviles o similares en la máquina. Mediante dos sensores, por ejemplo, se vigila la torsión de los cables (en sentido de las agujas del reloj y en sentido contrario a las agujas del reloj). Además se lleva a cabo una comprobación continua de la vibración, de la velocidad de rotación (excesiva) del rotor y del engranaje, así como una vigilancia del sistema de gestión (perro guardián).

20

Para vigilar la velocidad de rotación del rotor 20 durante el funcionamiento normal, es decir, durante un funcionamiento en una característica que prevé un funcionamiento a potencia óptima, está previsto un primer interruptor de velocidad de rotación 56.7 que, por ejemplo, prevé una parada o desconexión cuando la velocidad de rotación supere un valor límite, que típicamente se encuentra en el intervalo del 20% por encima de la velocidad nominal. De acuerdo con la invención está previsto adicionalmente un segundo interruptor de velocidad de rotación 56.8 conectado en serie con el primer interruptor de velocidad de rotación 56.7 y que se dispara cuando se supera un segundo límite de velocidad de rotación. El segundo límite de velocidad de rotación se establece de acuerdo con la invención por debajo del primer límite de velocidad de rotación, por ejemplo y preferentemente en el intervalo del 5 al 10% por encima de la velocidad nominal.

30

Siempre que la central eólica se encuentre en un modo de funcionamiento a potencia óptima, es decir, en funcionamiento normal, se cortocircuita el segundo interruptor de velocidad de rotación 56.8 mediante un interruptor de puenteo 56.9. El cortocircuito mediante el interruptor de puenteo 56.9 solo se elimina en otro modo de funcionamiento diferente del modo de funcionamiento a potencia óptima.

35

El segundo interruptor de velocidad de rotación 56.8 y, dado el caso, el interruptor de puenteo 56.9 pueden estar dispuestos en el buje 9. Entonces es conveniente que también el regulador 17 y el ajuste de palas 18 estén dispuestos en el buje. La señal de que predomina el primer modo de funcionamiento es transmitida por el gestor 15, 15' o por el dispositivo de vigilancia de seguridad 16 a través de un anillo colector o por radio al segundo interruptor de velocidad de rotación 56.8, de manera que el segundo interruptor de velocidad de rotación 56.8 queda inactivo.

40

El interruptor de velocidad de rotación 56.8 solo se activa cuando se interrumpe la señal, de manera que al superar el segundo valor límite para la velocidad de rotación se puede abordar inmediatamente el regulador o el control 17 para el ajuste del ángulo de las palas del rotor y/o el ajuste de las palas o un actuador para el ajuste de las palas y se puede llevar a cabo un ajuste de las palas del rotor en dirección de la posición de bandera. La señal preferentemente está ausente el tiempo que predomine el segundo modo de funcionamiento. De este modo se da una disposición a prueba de fallos. El riesgo de que el interruptor de velocidad de rotación 56.8 se desactive por un fallo en el gestor aunque no se conmute como es debido al funcionamiento normal se puede evitar mediante una conmutación retardada en el tiempo del interruptor de velocidad de rotación 56.8. Si se produce un incidente por fallos en el sistema de gestión 15, 15' o en el dispositivo de vigilancia de seguridad 16, se entrará en la situación crítica al cabo de unos pocos segundos. Si la desactivación se retrasa por principio por ejemplo 15 a 30 s, lo que es tenido en cuenta por el gestor, se podrá dominar de forma segura un fallo de este tipo. La activación del interruptor de rotación 56.8 se produce sin retraso.

45

50

55

Los interruptores 46.1, 46.2, 46.3, ..., 47 y los interruptores adicionales 56.1, 56.2, 56.3, ..., 46.7, 46.8 están

conectados en serie con el relé autofijador 61.1 así como con diferentes interruptores de reajuste 61.2, 61.3, ... conectados en paralelo entre sí para permitir reanudar el funcionamiento de la central eólica después de una parada de seguridad provocada por el dispositivo de parada de emergencia NA o el dispositivo de parada de seguridad SA. Para ello están previstos diferentes interruptores de reajuste 61.2, 61.3, ... Los interruptores de reajuste 61.2, 61.3, 5 ... pueden estar configurados en forma de interruptores de accionamiento mecánico dispuestos en los puntos correspondientes, por ejemplo en un cajetín superior o en un cajetín inferior.

Asimismo existe un interruptor de reajuste para la recuperación del suministro eléctrico. Durante el funcionamiento correcto de la central eólica, el interruptor autofijador o el relé autofijador 61.1 está cerrado. La fig. 3 muestra la 10 cadena de seguridad 20 en estado sin corriente. Además está previsto un interruptor de reajuste 62 que se conmuta por control remoto mediante un dispositivo de mando 41, dibujado en la fig. 3, de una central de control remoto. Mediante el accionamiento de los interruptores 56.1, 56.2, 56.3, 56.7 o 56.8 conmutados con sensor se efectúa una parada de seguridad, desprendiéndose los relés 58, 59 de manera que la central eólica se pueda hacer funcionar de forma segura. Se ejecutan entonces los programas de frenado correspondientes para las piezas de la central eólica 15 10.

De acuerdo con la invención se vigila la aceleración del rotor. Un criterio de parada o un desencadenamiento del frenado del rotor en una central eólica de 5 MW con un diámetro del rotor de 126 m puede ser, por ejemplo, una 20 aceleración del rotor que presenta un valor límite de 0,6 rpm/s. Se prefiere prever una vigilancia combinada de la aceleración del rotor y de la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor, por ejemplo un valor límite para la aceleración del rotor de 0,45 rpm/s y un valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor de -1°/s. Si una pala del rotor ya no puede girar, también se puede crear un criterio seguro estableciendo el valor límite para la aceleración del rotor en 0,6 rpm/s y el valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor en 0°/s. De este modo se ha efectuado, en comparación con el ejemplo antes mencionado del valor límite para la 25 aceleración de 0,45 rpm/s con un valor límite para la velocidad de ajuste de -1°/s, una adaptación del valor límite para la aceleración a 0,6 rpm/s para realizar así el valor límite deseado para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor de 0°/s para vigilar el accionamiento de ajuste de una pala bloqueada. El nivel de seguridad para la protección contra incidentes no admisibles debido a una velocidad de rotación excesiva del rotor es aproximadamente el mismo y solo se puede hallar mediante cálculos de simulación habituales.

30 También es posible vigilar únicamente la aceleración del rotor.

La aceleración del rotor se puede hallar, por ejemplo, mediante sensores de aceleración o calcular a partir de una señal de velocidad de rotación o señales de posición del rotor. Para hallar la aceleración del rotor puede estar 35 prevista, por ejemplo, como se muestra en la fig. 4, la disposición de dos sensores de aceleración 33, 34 sobre un eje de rotor 32. En lugar de estar dispuestos sobre el eje de rotor 32, los sensores 33, 34 también pueden estar dispuestos sobre el buje. Para medir la aceleración 35 o 36 del rotor también se puede medir la aceleración tangencial en la conexión con la pala. Ésta se puede convertir en una aceleración angular por división por el radio. Para eliminar la aceleración de la gravedad y las aceleraciones de la cabeza de la torre, por ejemplo aceleraciones 40 transversales, cabeceo, balanceo y torsión debidos a la medición, se prefiere disponer dos sensores de aceleración 33 y 34 desplazados 180°. La adición de las dos señales neutraliza las proporciones de aceleración no deseadas. Para un valor de disparo o valor límite de 0,45 rpm/s se obtiene, para un radio del rotor de 1,6 m, una aceleración tangencial correspondiente de 0,075 m/s<sup>2</sup>. En este caso se prevé un intervalo de medición de aprox. ± 15 m/s<sup>2</sup>. La 45 aceleración medida del rotor preferentemente se filtra. De este modo se pueden evitar paradas y procesos de frenado innecesarios del rotor. El filtrado es preferentemente un filtro de paso bajo con un elemento PT<sub>1</sub> con una constante de tiempo de 1 s.

La invención se puede aplicar especialmente al funcionamiento silencioso, es decir, a un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida. Las figuras 5a a 5d muestran diagramas de diferentes parámetros de una central 50 eólica representados a lo largo del tiempo. Se representa el comportamiento de la central eólica en el funcionamiento a velocidad de rotación reducida cuando se produce un incidente. El tiempo se indica en segundos. En las figuras están representadas tres curvas en cada caso. La curva de trazo grueso es el curso correspondiente del parámetro de funcionamiento con un gestor y un dispositivo de vigilancia de seguridad como se conoce en el estado de la técnica. La línea de trazo fino representa un modo de funcionamiento con un segundo dispositivo de 55 vigilancia de seguridad en el que se vigilan la aceleración del rotor y la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor y se inicia un proceso de frenado al alcanzar los dos valores límite relacionados con ellas. La línea discontinua representa un modo de funcionamiento con un dispositivo de vigilancia de seguridad en el que se vigila la velocidad de rotación y se inicia un frenado del rotor cuando se alcanza un valor límite reducido para la velocidad de rotación. Los ejemplos de realización de la fig. 5 se encuentran todos en un modo de funcionamiento a velocidad

de rotación reducida.

La fig. 5a muestra los tres diagramas correspondientes de la velocidad de rotación en función del tiempo. Se observa que en el funcionamiento a velocidad de rotación reducida, la velocidad de rotación del rotor en el caso de carga previsto se ajusta en un principio de forma constante a la velocidad de rotación reducida preestablecida y después aumenta, por ejemplo en caso de un incidente que aparece a los 20 s y que incluye una velocidad de ajuste máxima negativa del ángulo de las palas del rotor debido al incidente, es decir que aumenta hacia un ángulo de  $0^\circ$  (véase la fig. 5c). Se aprecia que, después, la velocidad de rotación del rotor aumenta y alcanza un máximo de aproximadamente 20 revoluciones por minuto (rpm), a saber, a aproximadamente 8 s después del caso de carga. En este caso se ha alcanzado el valor límite para la velocidad de rotación del rotor en el funcionamiento normal y se inicia un proceso de frenado de manera que se reduzca la velocidad de rotación del rotor. Esto ocurre mediante el ajuste del ángulo de las palas del rotor, como se puede apreciar en la fig. 5c.

La vigilancia de la aceleración del rotor acoplada a la vigilancia de la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor, por ejemplo con los valores límite de 0,45 rpm/s para la aceleración del rotor y un valor límite de  $-1^\circ/s$  para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor, da como resultado que la velocidad de rotación máxima alcanzada asciende a aproximadamente 10,5 rpm. El frenado se produce en este caso bastante antes. El frenado se produce algo más tarde cuando se prevé un segundo valor límite para la velocidad de rotación inferior al primer valor límite para la velocidad de rotación, por ejemplo de aproximadamente 18 rpm en el buje. En este caso se induce el frenado una vez alcanzado este valor límite. En las figuras 5a, 5b y 5c esto ocurre en aproximadamente 25 segundos.

En la fig. 5b se representa una aceleración del rotor filtrada con un elemento  $PT_1$  y una constante de tiempo de un segundo en función del tiempo que se aplica al caso de carga correspondiente. También aquí se observa que en el funcionamiento según el estado de la técnica la aceleración del rotor, expresada en rpm/s, se hace relativamente grande. El aumento de la aceleración del rotor es bastante menos pronunciado cuando se vigilan de forma correspondiente la aceleración del rotor y la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor (línea fina). En el caso de la línea discontinua, a saber, cuando se prevé un límite bajo para la velocidad de rotación, el rotor se acelera menos que en el caso de una gestión conocida.

En la fig. 5c se representa la velocidad de ajuste correspondiente del ángulo de las palas del rotor en  $^\circ/s$ . Se aprecia que el frenado del rotor se efectúa reajustando la velocidad de paso (velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor). Una vez alcanzados los valores límite correspondientes, la velocidad de paso se ajusta a  $8^\circ/s$  para frenar el rotor. En el funcionamiento de acuerdo con una gestión conocida esto se produce aproximadamente 7 s después del comienzo del incidente a 20 s.

La iniciación más rápida del proceso de frenado se alcanza con la línea fina.

En la fig. 5d se representa esquemáticamente el módulo de flexión del pie de pala en kNm para el dispositivo de vigilancia de seguridad correspondiente. Se aprecia claramente que con el procedimiento de acuerdo con la invención para hacer funcionar la central eólica correspondiente predominan cargas notablemente menores en la central eólica.

Para la vigilancia de un nivel de velocidad de rotación reducido en un segundo modo de funcionamiento correspondiente con al menos un segundo interruptor de velocidad de rotación 56.8 conectable, un valor límite adecuado para una central de 5 MW sería, por ejemplo, 1.170 rpm en el lado del generador, que equivale a la velocidad nominal en el funcionamiento normal. El primer valor límite para la velocidad de rotación en el funcionamiento normal asciende entonces, por ejemplo, a 1.250 rpm. Con el segundo valor límite reducido de 1.170 rpm se podría vigilar de forma segura un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida con velocidades de rotación de 870 a 1.100 rpm.

Los parámetros correspondientes dependen de los datos de diseño de la central eólica y se puede determinar o adaptar a cualquier central. Esto se puede realizar mediante cálculos de simulación aerelásticos. Los principales factores que influyen son en este caso el diámetro del rotor, la aerodinámica del rotor, la inercia rotacional del rotor y del grupo propulsor, las propiedades del sistema de ajuste de las palas y la calidad de las señales de los sensores.

El segundo valor límite para la velocidad de rotación en el modo de funcionamiento que se sale o que es inferior al funcionamiento normal a potencia óptima debería encontrarse con preferencia aproximadamente 5 a 9% o preferentemente 6 a 7% por encima de la velocidad de rotación reducida preestablecida. En el caso de las

reducciones habituales de la velocidad de rotación por motivos de ruido puede ocurrir que el segundo valor límite para la velocidad de rotación se encuentre bastante exactamente en el intervalo de la velocidad nominal del funcionamiento normal a potencia óptima. En el caso de establecer velocidades de rotación reducidas en el funcionamiento a velocidad de rotación reducida que se encuentran claramente por debajo de la velocidad nominal 5 en el funcionamiento a potencia óptima también se pueden aumentar notablemente los valores límite para la velocidad de rotación (respecto a la velocidad de rotación reducida preestablecida) en relación con la velocidad de rotación reducida preestablecida. Así, los valores límite para la velocidad de rotación en el funcionamiento a velocidad de rotación reducida pueden superar esta velocidad de rotación reducida preestablecida, por ejemplo, entre un 30 y un 40%, siempre que la velocidad de rotación reducida preestablecida ascienda, por ejemplo, a tan 10 solo el 75% de la velocidad nominal en el funcionamiento normal a potencia óptima, es decir que los valores límite para la velocidad de rotación se encuentran entonces, respecto a la velocidad nominal en el funcionamiento a potencia óptima, justo por debajo o justo por encima de esta velocidad nominal.

De acuerdo con la invención, la cadena de seguridad se puede ampliar mediante más funciones de vigilancia. Las 15 funciones de vigilancia pueden estar integradas en un controlador de paso o en un dispositivo de control o de regulación del ángulo de las palas en el buje. Adicionalmente puede estar prevista una unidad de vigilancia independiente que actúe directamente sobre el actuador de ajuste del ángulo de las palas del rotor.

Se podría incorporar en la cadena de seguridad un conmutador adicional para la aceleración del rotor en forma de 20 hardware. Este conmutador para la aceleración del rotor registra una aceleración, en especial filtrada, del rotor a partir de la señal de la velocidad de rotación. La evaluación se puede efectuar a través de una placa iniciadora o un codificador incremental.

La cadena de seguridad también puede incluir un conmutador de la velocidad de rotación que se active mediante un 25 indicador de estado (señal de estado). Este ya se insinúa esencialmente en la fig. 3. Además puede ser posible que un dispositivo de control o de regulación reconozca por sí mismo un modo de funcionamiento a velocidad de rotación variable o un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida o un modo de funcionamiento que está reducido respecto a un funcionamiento normal a potencia óptima. Para ello pueden estar previstos en el buje dos 30 conmutadores de la velocidad de rotación, uno de los cuales está configurado en forma de una especie de contacto de apertura y el otro en forma de contacto de cierre. El contacto de cierre está ajustado, por ejemplo, con un periodo de promediación relativamente largo a una velocidad de rotación inferior a la velocidad nominal y, por lo tanto, activa el conmutador de la velocidad de rotación que funciona como contacto de apertura cuando el nivel de velocidad de rotación es reducido en general o puentea este conmutador de la velocidad de rotación cerrándolo cuando el nivel 35 de velocidad de rotación se mantiene elevado durante un tiempo prolongado.

También puede estar prevista la vigilancia de los parámetros de funcionamiento en el regulador 17 de la fig. 2. Este regulador 17 o controlador de paso se puede usar como sistema independiente para la vigilancia y permite acceder directamente al o a los actuador(es) 18 de ajuste del ángulo de las palas del rotor de la fig. 2.

40 En lugar de los dos sensores de la fig. 4 también se pueden usar cuatro sensores, en particular redundantes, o un número impar de sensores que generan señales correspondientes que sirven para calcular la aceleración tangencial del rotor. También podría usarse solo un sensor, siempre que se corrija matemáticamente a lo largo de la posición del rotor la influencia de la gravitación cuando el buje gira y se deduzcan las aceleraciones perturbadoras reductoras debidas al comportamiento de vibración de la central.

45 Resulta ventajoso registrar la aceleración del rotor mediante sensores dispuestos en o dentro del buje, puesto que ello permite una vigilancia independiente del control de la central.

Además, puede estar prevista en el buje del rotor una vigilancia adicional de la velocidad de rotación o un 50 conmutador adicional de la velocidad de rotación. Para ello se transmite en forma de señal un valor teórico para la velocidad de rotación al regulador 17, que es un regulador de ajuste del ángulo de las palas del rotor o un dispositivo de control correspondiente. En el regulador 17 también se puede hallar un valor real de la velocidad de rotación para vigilar la velocidad de rotación.

55 Según la invención resulta ventajoso que para cualquier velocidad de rotación preestablecida, también se pueda adaptar el valor límite admisible, por ejemplo como preestablecimiento porcentual, ascendiendo el valor límite, por ejemplo, al 125% de la velocidad de rotación teórica en este modo de funcionamiento. También pueden estar previstos varios niveles preestablecidos para los valores límite. Para ello también puede estar prevista preferentemente una vigilancia de plausibilidad del valor teórico de la velocidad de rotación que es transmitido. Si se

transmiten valores teóricos no plausibles para la velocidad de rotación o no se transmite ningún valor, se inicia una maniobra de frenado. La plausibilidad se puede vigilar mediante una desviación máxima admisible entre los valores teórico y real, un límite superior máximo del valor teórico y una aceleración o velocidad de variación máxima admisible del valor teórico. Los valores correspondientes medidos se han de filtrar o promediar para excluir señales falsas aisladas. Para evitar un retraso temporal demasiado grande puede estar previsto, por ejemplo, que como filtrado deba superarse uno de los valores límite en solo dos señales sucesivas de la velocidad de rotación.

La activación de la vigilancia también puede estar prevista mediante un indicador de estado (señal de estado) transmitido por el control o la regulación y/o por el gestor o el sistema de seguridad a través de un anillo colector y que es activo cuando no hay señal (disposición a prueba de fallos).

El segundo interruptor de velocidad de rotación 56.9 de la fig. 3 se puede desactivar ventajosamente con un retraso temporal unilateral, por ejemplo con un retraso temporal de 30 s. Un conmutador de la velocidad de rotación correspondiente también puede estar dispuesto en el buje.

Asimismo puede estar previsto un módulo de preestablecimiento externo con el que se ponen a disposición velocidades de rotación preestablecidas. Este módulo de preestablecimiento externo puede enviar, por ejemplo, un indicador de estado o una señal de estado al regulador 17. De este modo se reduce el riesgo de que el regulador 17 efectúe una reducción de la velocidad de rotación sin que se fije el indicador de estado. Entonces también se puede vigilar adicionalmente la velocidad de rotación preestablecida interna.

En la fig. 6 se representa un diagrama de bloques esquemático del curso de procedimiento del funcionamiento de una central eólica. En el ejemplo de la fig. 6 se consulta en 70 si existe una señal para el segundo modo de funcionamiento. Se puede tratar del indicador de estado antes descrito. Por ejemplo, se puede generar una señal correspondiente cuando se detecte que la red 25 solo puede admitir una potencia reducida. También se puede generar una señal correspondiente cuando, por ejemplo, sea necesario un funcionamiento a velocidad de rotación reducida para evitar molestias por ruido, por ejemplo durante la noche. Si la respuesta a esta pregunta es "no", lo que en la fig. 6 viene representado mediante n, está claro que la central eólica se encuentra en el funcionamiento normal a potencia óptima 71.

A continuación se consulta si la velocidad de rotación actual es superior a un primer valor límite para la velocidad de rotación. Esto ocurre en 72. Si la respuesta es negativa, la pregunta anterior se repite en 80. Si la respuesta a la pregunta de si la velocidad de rotación es superior al primer valor límite para la velocidad de rotación es afirmativa, lo que en la fig. 6 viene representado mediante j, se inicia el proceso de frenado en 74. Esto se puede efectuar accionando un freno mecánico o reajustando el ángulo de las palas del rotor hacia ángulos mayores en dirección a la posición de bandera.

Antes de que se produzca la recursión del procedimiento de 72 a 70 se consulta en 73 si la aceleración del rotor es superior a un valor límite para la aceleración del rotor. En caso negativo, el procedimiento continúa en 70. En caso afirmativo, se inicia un proceso de frenado. Si en 70 la respuesta a la pregunta de si existe una señal para el segundo modo de funcionamiento es sí, el procedimiento continúa en 75, a saber, en el segundo modo de funcionamiento, que puede ser, por ejemplo, un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida para, por ejemplo, lograr una reducción del ruido.

A continuación se comprueba en 77 si la velocidad de rotación actual es superior a un segundo valor límite para la velocidad de rotación que es inferior al primer valor límite para la velocidad de rotación. En caso afirmativo, se consulta en 78 si la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor es inferior a un valor límite para una velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor. En caso afirmativo, se inicia en 79 un proceso de frenado.

Si la respuesta a la pregunta anterior es no, el procedimiento comienza de nuevo en 70. De forma correspondiente, si la respuesta a la pregunta en 77 es no, el procedimiento también comienza de nuevo en 70.

De acuerdo con la invención, en lugar de la conexión Y de las consultas en 77 y 78 también se puede realizar la consulta exclusivamente en 77, suprimiendo la consulta en 78. De forma correspondiente y como se muestra en la fig. 6, también se puede realizar, en paralelo a las consultas 77 y 78, la consulta en 73 de si la aceleración del rotor es superior a un valor límite para la aceleración del rotor. Si la respuesta es sí, se inicia el proceso de frenado independientemente de las respuestas en 77 y 78. Si la respuesta a esta consulta en 73 es negativa, se realizan también independientemente de ello las consultas 77 y 78.

La fig. 7 representa un curso de procedimiento esquemático de un procedimiento de acuerdo con la invención para hacer funcionar una central eólica en una forma de realización alternativa al curso de procedimiento según la fig. 6. En este caso se han intercambiado las consultas en 77 y 73 en comparación con la fig. 6. De este modo, tras consultar en 70 si existe una señal para el segundo modo de funcionamiento y la respuesta es afirmativa, el procedimiento se conduce a 75 en el segundo modo de funcionamiento, por ejemplo un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida.

Después se realizan en paralelo las consultas siguientes, a saber, en 77 si la velocidad de rotación es superior al segundo valor límite para la velocidad de rotación. En caso afirmativo se produce un frenado en 79. La otra variante de la consulta según la fig. 7 en el segundo modo de funcionamiento 75 se realiza en un principio comprobando en 73 si la aceleración del rotor es superior al valor límite para la aceleración del rotor. En caso negativo se vuelve a consultar en 70 si existe una señal para el segundo modo de funcionamiento. Sin embargo, si la respuesta a la consulta en 73 es sí, se consulta en 78 si la velocidad de ajuste del ángulo de las palas es inferior al valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas. Si la respuesta a esta consulta es sí, se produce un frenado en 79. La lógica subyacente a la gestión del segundo modo de funcionamiento es la siguiente: se produce un frenado cuando se supera el segundo valor límite para la velocidad de rotación O se supera el valor límite para la aceleración del rotor Y se supera el valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor.

Lista de símbolos de referencia

20		
	9	Buje del rotor
	10	Central eólica
	11	Torre
	12	Rotor
25	13	Eje del rotor
	14	Pala del rotor
	15	Sistema de gestión
	15'	Sistema de gestión con dispositivo de vigilancia de seguridad
	16	Dispositivo de vigilancia de seguridad
30	17	Regulador
	18	Ajuste de las palas
	19	Freno mecánico
	20	Cadena de seguridad
	21	Componentes eléctricos
35	22	Eje rápido
	23	Generador (con rotor y estator)
	24	Engranaje
	25	Red
	26	Conexión de datos
40	27	Conexión de datos
	28	Ajuste del ángulo
	29	Dirección de rotación
	30	Señal de interferencia
	31	Viento
45	32	Eje del rotor
	33	Sensor de aceleración
	34	Sensor de aceleración
	35	Aceleración
	36	Aceleración
50	41	Dispositivo de mando
	45	Alimentación de tensión
	46.1, 46.2, 46.3	Interruptores de parada de emergencia
	47	Interruptor de llave
	48	Relé (parada de emergencia)
55	49	Relé (parada de emergencia)
	56.1, 56.2, 56.3	Interruptores conmutados con sensor
	56.7	Primer interruptor de velocidad de rotación
	56.8	Segundo interruptor de velocidad de rotación
	56.9	Interruptor de puenteo

58	Relé (parada de seguridad)
59	Relé (parada de seguridad)
61.1	Interruptor autofijador
61.2, 61.3	Interruptores de reajuste
5 62	Interruptor de reajuste
70	¿Existe señal para el segundo modo de funcionamiento?
71	Funcionamiento normal a potencia óptima
72	¿Velocidad de rotación superior al primer valor límite para la velocidad de rotación?
73	¿Aceleración del rotor superior al valor límite para la aceleración del rotor?
10 74	Frenado
75	Segundo modo de funcionamiento
77	¿Velocidad de rotación superior al segundo valor límite para la velocidad de rotación?
78	¿Velocidad de ajuste del ángulo de las palas inferior al valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas?
15 79	Frenado
NA	Dispositivo de parada de emergencia
SA	Dispositivo de parada de seguridad

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para hacer funcionar una central eólica (10) con un rotor (12) que presenta al menos una pala de rotor (14) de ángulo ajustable, en el que un parámetro de funcionamiento se halla mediante un procedimiento de registro y se vigila mediante un sistema de seguridad independiente de un sistema de gestión y en el que, al alcanzar un valor límite para el parámetro de funcionamiento, se inicia un proceso de frenado del rotor (12) por el sistema de seguridad, **caracterizado porque** la central eólica (10) se hace funcionar en un primer modo de funcionamiento (71) o un segundo modo de funcionamiento (75), siendo el primer modo de funcionamiento (71) un funcionamiento normal a potencia óptima y el segundo modo de funcionamiento (75) un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida y/o a potencia reducida que se sale del funcionamiento normal a potencia óptima, siendo el parámetro de funcionamiento una aceleración del rotor e iniciándose en el primer modo de funcionamiento (71) y/o el segundo modo de funcionamiento (75) un proceso de frenado del rotor (12) cuando predomine una aceleración del rotor que supera un valor límite para la aceleración del rotor.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque** la adaptación del valor límite para el parámetro de funcionamiento ocurre durante el funcionamiento de la central eólica (10), siendo en particular el segundo modo de funcionamiento (75) un funcionamiento de la central eólica (10) a velocidad de rotación reducida, a potencia reducida y/o a un par de rotación reducido, siendo el parámetro de funcionamiento vigilado en particular una velocidad de rotación del rotor (12), una aceleración del rotor (12), un ángulo de ajuste de las palas del rotor, una velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor, una aceleración del ajuste del ángulo de las palas del rotor, un par de rotación del rotor o una potencia de salida eléctrica.
3. Procedimiento según la reivindicación 1 o 2, **caracterizado porque** se vigilan al menos dos parámetros de funcionamiento y se comparan respectivamente con un valor límite correspondiente para el parámetro de funcionamiento, iniciándose en particular el proceso de frenado solo cuando los al menos dos parámetros de funcionamiento alcanzan respectivamente sus valores límite correspondientes para el parámetro de funcionamiento, adaptándose en particular los valores límite para los parámetros de funcionamiento al menos en parte de forma dependiente entre sí.
4. Central eólica (10) con un rotor (12) que presenta al menos una pala de rotor (14) de ángulo ajustable, en la que la central eólica (10) comprende un sistema de gestión (15), en la que está previsto un sistema de seguridad (16, 20) para vigilar al menos un parámetro de funcionamiento, en la que el sistema de seguridad (16, 20) proporciona en el sistema de gestión (15) una señal para frenar el rotor (12) o inicia el frenado del rotor (12) en cuanto el al menos un parámetro de funcionamiento alcance un valor límite para el parámetro de funcionamiento, **caracterizada porque** el sistema de gestión (15) prevé al menos un primer modo de funcionamiento (71) y un segundo modo de funcionamiento (75), siendo el primer modo de funcionamiento (71) un funcionamiento normal a potencia óptima y el segundo modo de funcionamiento (75) un modo de funcionamiento a velocidad de rotación reducida y/o a potencia reducida que se sale del funcionamiento normal a potencia óptima, estando previsto al menos un sensor de aceleración (33, 34) que en el primer modo de funcionamiento (71) y/o en el segundo modo de funcionamiento (75) mide una aceleración del rotor como parámetro de funcionamiento, en el que el sistema de seguridad (16, 20) proporciona la señal para frenar el rotor (12) o inicia el frenado del rotor (12) cuando se supere un valor límite para la aceleración del rotor.
5. Central eólica (10) según la reivindicación 4, **caracterizada porque** un parámetro de funcionamiento es una velocidad de rotación del rotor, estando previsto para el primer modo de funcionamiento (71) un primer interruptor de velocidad de rotación (56.7) en el sistema de seguridad (16, 20) y para el segundo modo de funcionamiento (75) un segundo interruptor de velocidad de rotación (56.8) en el sistema de seguridad (16, 20), proporcionando al menos uno de los interruptores de velocidad de rotación (56.7, 56.8) la señal de frenado cuando se supere un valor límite para la velocidad de rotación asignado al interruptor de velocidad de rotación (56.7, 56.8) correspondiente, siendo en particular una velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor y/o una aceleración del rotor un parámetro de funcionamiento, debiendo alcanzar en particular la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor un valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor y la aceleración del rotor un valor límite para la aceleración del rotor para provocar que el sistema de seguridad (16, 20) proporcione una señal de frenado o inicie el frenado del rotor (12), dependiendo en particular el valor límite para la velocidad de ajuste del ángulo de las palas del rotor del valor límite para la aceleración del rotor.
6. Central eólica (10) según la reivindicación 4 o 5, **caracterizada porque** está previsto un sensor (56.1-56.3, 56.7, 56.8) para el parámetro de funcionamiento en el sistema de seguridad (16, 20), en particular en una

cadena de seguridad (20).

7. Central eólica (10) según una de las reivindicaciones 4 a 6, **caracterizada porque** el sistema de seguridad (16, 20) es independiente del sistema de gestión (15), estando dispuesto en particular el sistema de seguridad (16, 20) o partes de él en un actuador para el ajuste del ángulo de las palas (18) o un regulador para el ajuste del ángulo de las palas (17).

8. Programa informático con medios de código de programa, **caracterizado porque** los medios de código de programa están adaptados para ejecutar el procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3 cuando el programa informático corre, en particular, en el dispositivo de control o de regulación de una central eólica (10).

9. Programa informático según la reivindicación 8, que está almacenado en un soporte de datos legible por ordenador.

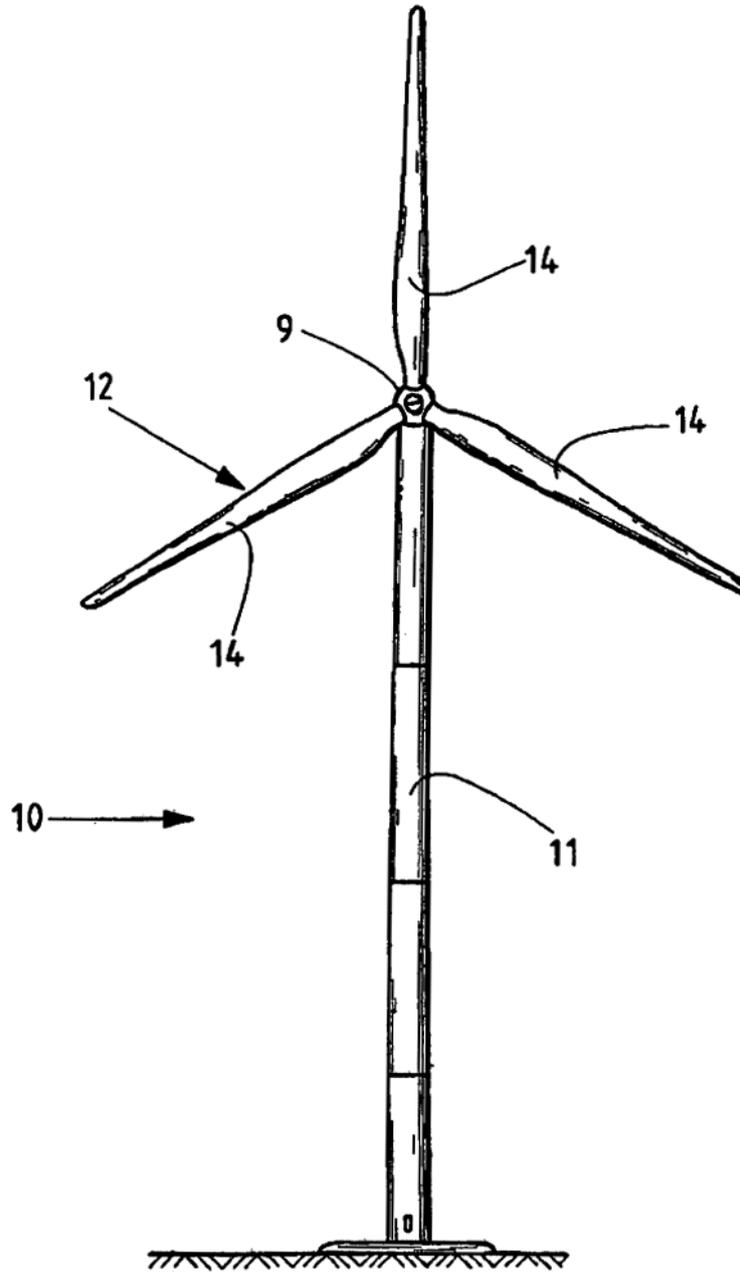


Fig. 1

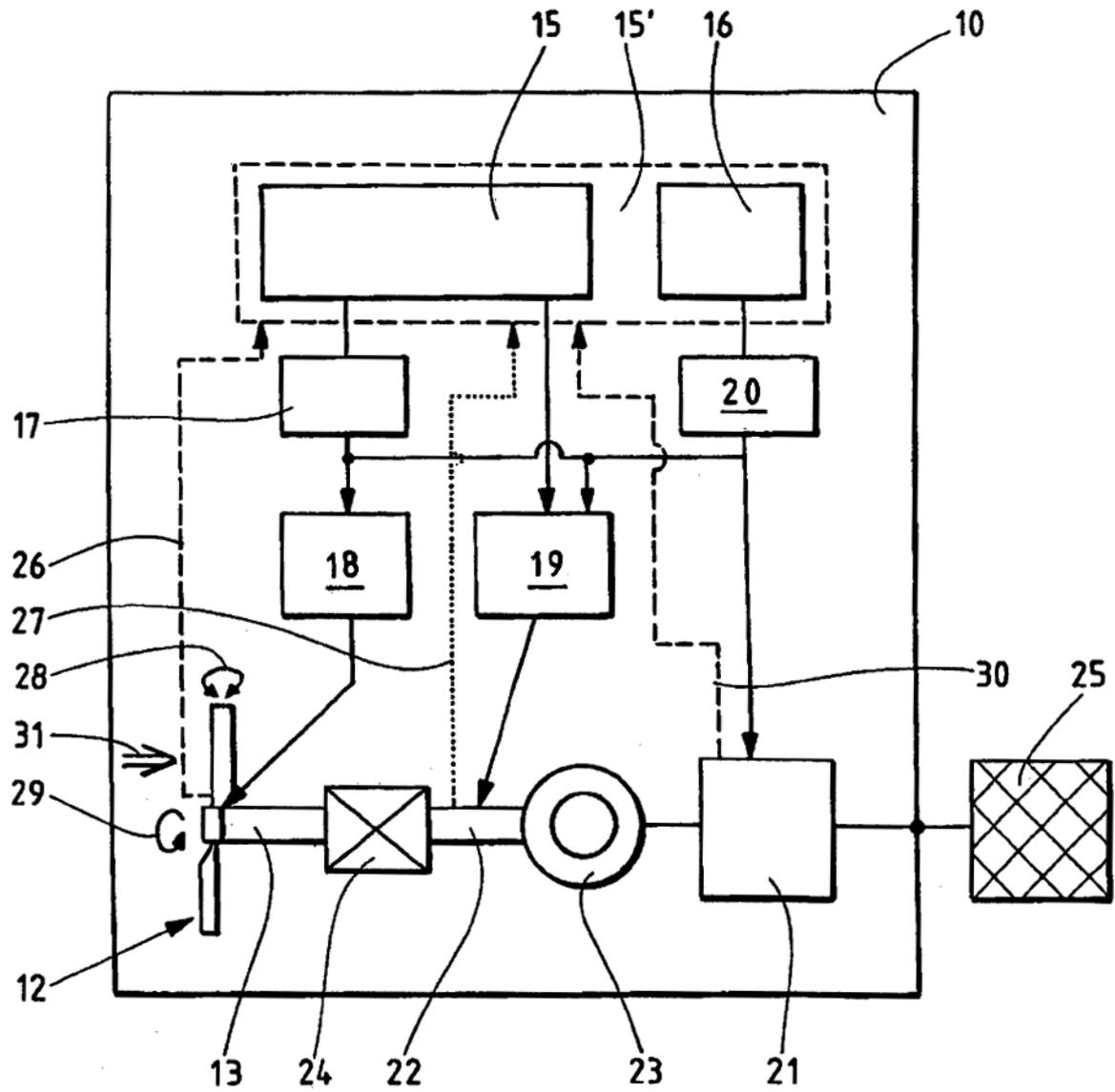


Fig. 2

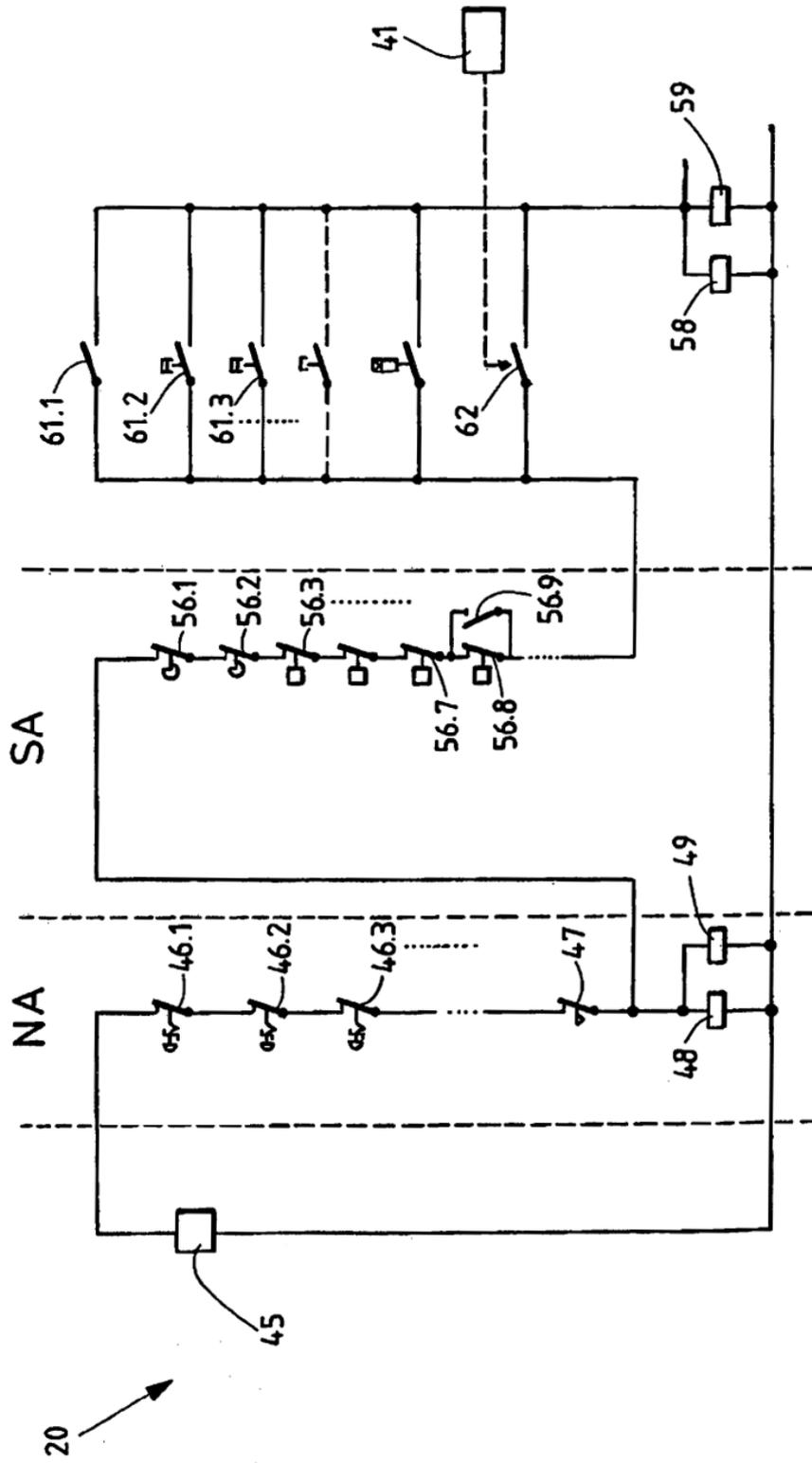


Fig. 3

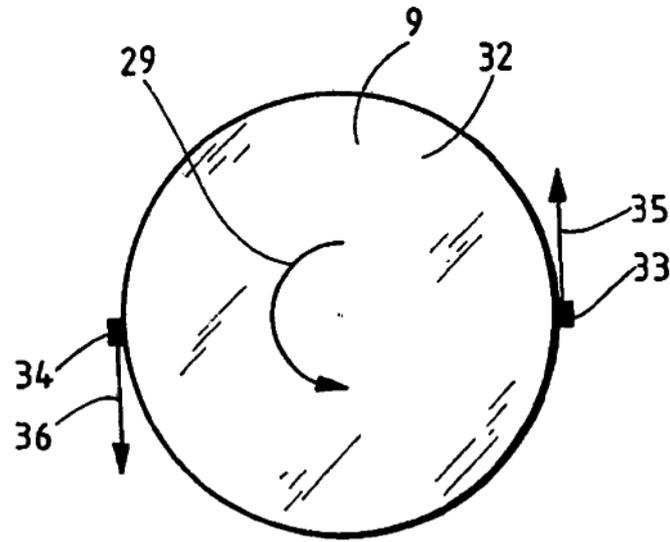
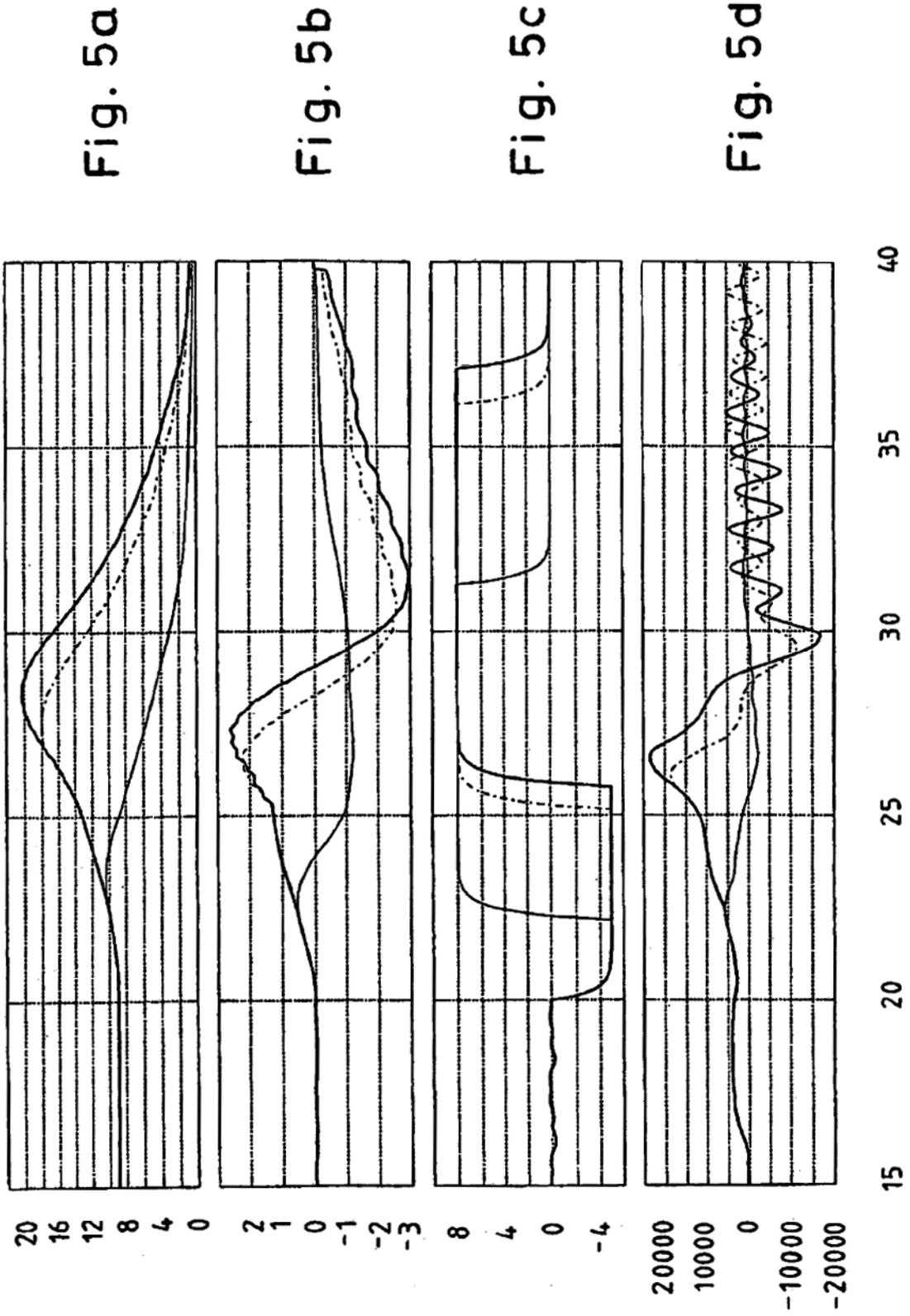


Fig. 4



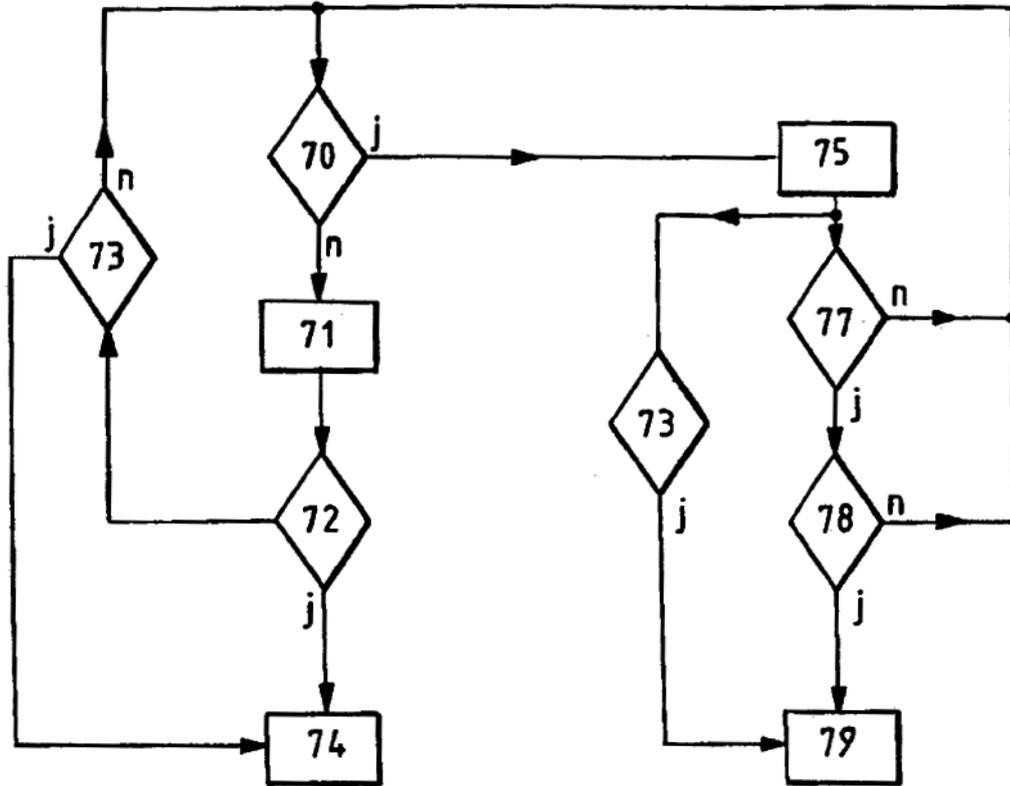


Fig. 6

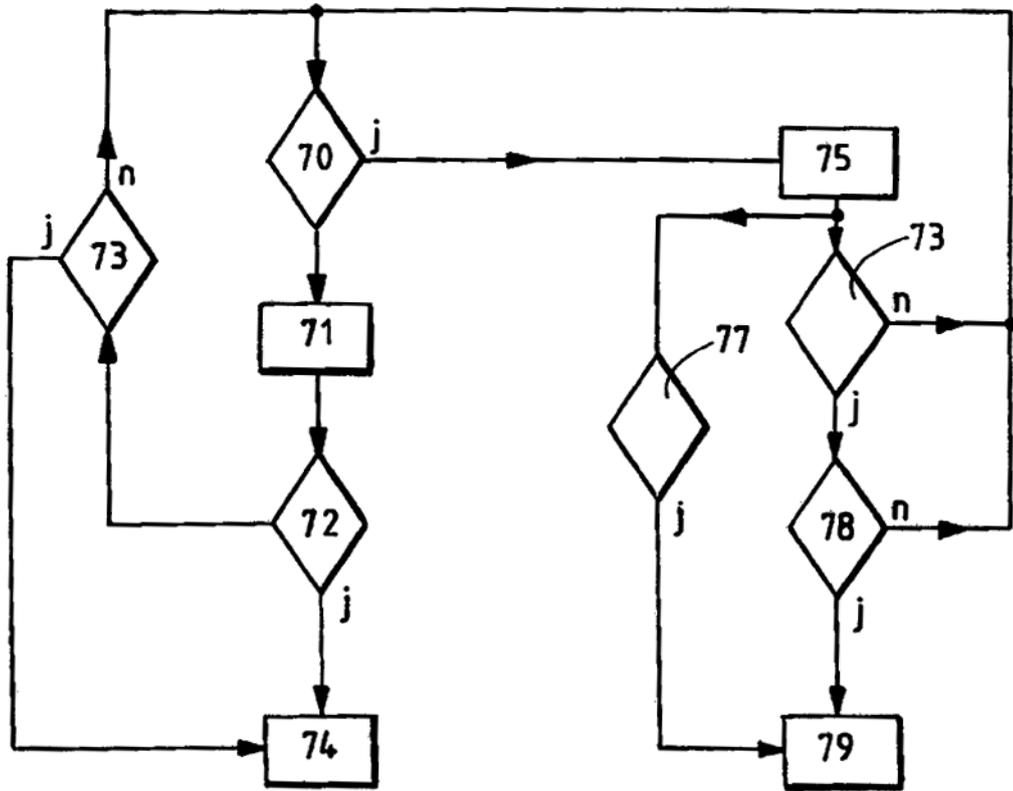


Fig. 7